



Die Erfindung betrifft ein produktorientiertes Prozeßmanagement, das zur Prozeßbeherrschung auf eine Wissensbasis zugreifen kann. Diese Prozeßkomponente wird als Wissenskomponente bezeichnet.

Die technischen Produkte werden zunehmend komplexer und die zugehörigen Herstellungsprozesse werden immer enger am Rande der technischen Beherrschbarkeit gefahren. Damit sie trotzdem effektiv definiert und optimiert werden können, bedient man sich in immer größerem Maße der Modellierung. Dabei gewinnt das produkt- und prozeßspezifische Wissen für die Prozeßbeherrschung immer mehr an Bedeutung und muß deshalb als wesentliche Komponente des Prozesses betrachtet werden. Die Wissenskomponente enthält somit einen großen wirtschaftlichen Stellenwert, der z. B. beim Transfer oder Verkauf von Prozessen hervortritt. Ein typisches Beispiel für die Situation sind die Prozesse zur Herstellung von integrierten Halbleiterschaltungen.

Die jeweils verwendete Methode zur Modellierung muß folgende Probleme lösen:

- Beherrschung der Komplexität des Systemes,
- Anpassung des Modelles an unterschiedliche Fragestellungen,
- Verständlichkeit der Modelle für alle Beteiligten und somit angemessene Darstellung des zu optimierenden Systemes.

Wichtige Anforderungen an die Wissenskomponente bestehen somit unter anderem in der zuverlässigen Modellierung, wobei die Definition bzw. Optimierung von Prozessen berücksichtigt werden muß. Dies erfordert in der Praxis die Behandlung von enorm komplexen Systemen.

In Abhängigkeit vom Interessenschwerpunkt und der jeweils vorliegenden Aufgabe können sich somit unterschiedliche Fragestellungen ergeben. Diese müssen vom Prozeßmodell beantwortet werden, und sämtliche Varianten müssen übersichtlich und verständlich dargestellt werden.

Teilaspekte der in der obigen Strichaufzählung angeführten Merkmale werden durch sogenannte FMEA-Tools realisiert (Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse).

In der DE 43 05 522 A1 wird eine Einrichtung bzw. ein Verfahren zur automatischen Erzeugung einer Wissensbasis für ein Diagnose-Expertensystem beschrieben. Dabei wird für jede Variante eines technischen Systemes, das aus Modulen aufgebaut ist, effizient eine Wissensbasis erstellt. Ein Expertensystem soll für jede Variante schnell diagnostizieren können. Dies bedeutet insbesondere: Beim Wissenserwerb erstellt man Wissensmodule, nämlich ein Wissensmodul für jeden Typ von realem Modul, das in mindestens einer Variante des technischen Systemes auftritt. Das Wissensmodul enthält alles diagnoserelevante Wissen über den realen Modultyp dergestalt, daß es für jedes Exemplar des Types gilt.

Aus TR Technische Rundschau, Heft 15, 1992, Seiten 40—47 sind "Methoden der künstlichen Intelligenz in der industriellen Fertigung" bekannt. Darin werden insbesondere verschiedene Fertigungsmodelle, die künstliche Intelligenz einsetzen, diskutiert. Darin wird ein sog. statisches und dynamisches Weltmodell zur Speicherung von Wissen (Wissensbasis) verwendet, das am Fertigungsort raschen Veränderungen unterliegt, wie bei-

spielsweise gemessene Qualitätsparameter. Es wird jeweils ein Bezug zur Konstruktion, Prozeßplanung, Fertigungsplanung und Qualitätssicherung, sowie zur Diagnostik hergestellt.

Es wird auch "Wissensgewinnung mit Hilfe der funktionalen Analyse" diskutiert.

Auf dem heutigen Markt sind außerdem verschiedene Tools zur Prozeßmodellierung verfügbar. Es ist jedoch kein Tool bekannt, mit dem auch der Zusammenhang zwischen Produkt und Prozeß auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen modellierbar ist und bei dem beispielsweise später bei der automatischen Ableitung von Wissen dieses mitberücksichtigt werden kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur automatischen Ableitung von Wissen zur Prozeßbeherrschung zur Verfügung zu stellen, wobei gleichzeitig auf Wissen über das Produkt und über den Herstellungsprozeß zugegriffen werden kann und ein robustes Verhalten bei verschiedenartigen Anfragen gewährleistet ist.

Die Lösung dieser Aufgabe geschieht durch die Merkmale des Anspruches 1.

Eine weitere Ausgestaltung kann dem Unteranspruch entnommen werden.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die gleichzeitige Einbringung der produktbezogenen und der prozeßbezogenen Daten in ein integriertes Modell eine Verbesserung im Umgang mit der Wissensbasis erzielt. Dieses Wissen zur Prozeßbeherrschung wird als Wissenskomponente (Prozeßkomponente) wesentlicher Bestandteil des Prozesses zur Herstellung technischer Produkte.

Die automatische Ableitung von Wissen besagt, daß die Wissensbereitstellung direkt durch einen Rechner erfolgen muß und daß die für eine Anfrage notwendige Interaktion auf ein für die Rechnerbedienung notwendiges Minimum beschränkt wird. Die Automatik bei der Ableitung ist wichtig, um die Wissenskomponente personenunabhängig zu bedienen, damit die Wissenskomponente bzw. Teile davon auch ohne das an der Planung des Prozesses beteiligte Personal weitergegeben und verwendet werden können.

Unter robustem Verhalten gegenüber Anfragen ist zu verstehen, daß die Wissenskomponente auch dann ein relativ gutes Ergebnis liefern soll, wenn die Anfrage nur grob spezifiziert ist. Dies ist insbesondere aus folgenden beiden Gründen wichtig:

— Bei Auftreten eines Problems, zu dessen Lösung man die Wissenskomponente konsultieren möchte, ist meist nicht ausreichend klar, durch welche in der Wissenskomponente hinterlegten Kenngrößen sich das Problem vollständig charakterisieren läßt.

— Aufgrund der hohen Produkt und Prozeßkomplexität ist es beim Erstellen der Wissenskomponente unmöglich, alle potentiellen Anfragen vorab mit zu berücksichtigen. Für eine gute Problemlösung ist aber gerade die effiziente Reaktion auf diese Art von Anfragen von besonderer Bedeutung.

In einer Ausgestaltung der Erfindung ist die automatische Übernahme von neuem Wissen in das Gesamtmodell vorgesehen. Somit kann die Wissensbasis, die im Mittelpunkt steht, ihr Wissen zur produkt- und prozeßspezifischen Problemlösung verändern, verbessern oder erweitern. Dies geschieht, indem vorhandene Wissens-

elemente ausgewählt werden und diese miteinander in Beziehung gesetzt werden. Eine effiziente Unterstützung bei der Übernahme und Pflege von Wissen ist wichtig, weil zum einen nicht alle potentiellen Anfragen zum Erstellen der Wissenskomponente vorab mitberücksichtigt werden können und zum anderen Produkt und prozeßdynamischen Veränderungen unterworfen sind. Gründe für solche Veränderungen können beispielsweise der Austausch von vorhandenen Teilanlagen oder Materialien aus technologischen oder wirtschaftlichen Erfordernissen sein. Ebenso kann eine Prozeßerweiterung durch Hinzunahme von neuen Produkten in das Produktspektrum für den Herstellungsprozeß vorliegen.

Somit kann bei der Steuerung von komplexen Produktionsprozessen auf bereits erarbeitetes Prozeßwissen schnell zurückgegriffen werden. Dies geschieht nun erfindungsgemäß unter gleichzeitiger Zuhilfenahme des Wissens über Produkt und Prozeß.

Zur Verdeutlichung der einzelnen Merkmale der Erfindung sei auf folgendes hingewiesen:

Die Merkmale in einem wissensbasierten System entstammen im wesentlichen den Bereichen der objektorientierten Modellierung und der Qualitätsmanagement-Methoden. Die Modellierung selbst betrifft die Herstellung des Zusammenhanges bei der rechnergestützten Bereitstellung zum Zwecke der automatischen Weiterverarbeitung. Die Aufbau- und Funktionsstruktur bei der Modellierung von Produkten und Prozessen in einem integrierten Modell ist hochentwickelt, entspricht jedoch im Prinzip der Aufbau- und Funktionsstruktur, wie sie in weniger integrierten Modellen vorhanden sind, wie beispielsweise in der FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse) oder in der Methode QFD (Quality Function Deployment). Das Fehlerwissen wird ähnlich wie im Problemlösungsfall der FMEA dargestellt. Es wird also durch Fehlfunktionen, Zusammenhänge zwischen Fehlfunktionen (entspricht Fehlerbäumen), Zuordnen von Vermeidungs- und Entdeckungsmaßnahmen dargestellt. Das Modellieren des Erfassungskontextes zu einem Wissenselement (Teil des Gesamtwissens) beinhaltet, daß die Modellierung durch die Instanziierung von Objektklassen realisiert wird. Dieser Einsatz von Objektklassen steht in engem Zusammenhang mit der Modularisierung des Wissens. Der Erfassungskontext gibt an, in welchem Zusammenhang das Wissen erarbeitet wurde. Der Erfassungskontext ist eine Untermenge des Gültigkeitsbereiches. Die Modellierung von Strukturen zum stufenweisen Verallgemeinern des Gültigkeitsbereiches der Wissensmodule geschieht durch Klassenhierarchien (Taxonomien) und Vererbungsmechanismen.

Der Einsatz derartiger Wissenskomponenten ist insbesondere bei hochkomplexen Produkten und Prozessen zu deren Herstellung wichtig. Dabei kann mit dem beschriebenen integrierten Modell eine enge Verzahnung zwischen Produkt und Prozeß hergestellt werden, so daß ein hoher Integrationsgrad vorliegt. Ein typisches Beispiel dafür ist die Halbleitertechnologie.

Im folgenden wird anhand der begleitenden schematischen Figuren ein Ausführungsbeispiel beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine grafische Darstellung der wichtigen Objekte und ihrer Beziehungen zueinander.

Fig. 2 zeigt ein Beispiel für die Modellierung einer kontextabhängigen Zuordnung.

Fig. 3 zeigt die Illustration für die Verzahnung von Klassenhierarchien und Beziehungen am Beispiel der gleichzeitigen Erfassung von Daten, von Produkt- und

Herstellungsverfahren.

Fig. 4 zeigt das automatische Zuordnen eines Fehlers durch Vererbung an einem Beispiel aus der Halbleiterfertigung.

Die Fig. 1 zeigt die grafische Darstellung der wichtigen Objekte O1—O14 eines Modelles und die entsprechenden Relationen R1—R16. Die einzelnen Kästchen stellen verschiedene Objekte dar. Die verbindenden Linien und Pfeile entsprechen den jeweiligen Relationen zwischen den Objekten. Das zentralplazierte Objekt O3 ist ein Prozeßträgerelement bzw. ein Fertigungsselement. Dieses wird entsprechend der Relation R9 eingesetzt in dem Objekt O2, dem Prozeßelement. Weiterhin wird es realisiert durch die Relation R10 in der Funktion, die dem Objekt O4 entspricht. Die Relation R1 besagt, daß das Prozeßelement ein Produktelement, Objekt O1, fertigt. Entsprechend der Beziehung B1 weist das Produktelement vorgegebene Merkmale auf. Die Relation R2 besagt, daß das Objekt O4 realisiert wird. Entsprechend der Relation R3 kann eine Versagensart auftreten, die zur Fehlfunktion führt, Objekt O5. Der Fehlfunktion ist die Beziehung B2 beigeordnet, wodurch die entsprechende Auswirkung bekannt ist. Durch die Relation R4 wird die Symptombeschreibung, Objekt O6, charakterisiert und entsprechend R5 visualisiert in einem optischen Fehlerbild, Objekt O7. Der Fehlfunktion, Objekt O5, wirkt eine Maßnahmengruppe, Objekt O10, über die Relation R11 entgegen. Das Objekt O10 kann aus den Objekten O11 bis O14 bestehen. Die Objekte O11 und O12 sind verschiedene Maßnahmen. Das Objekt O13 entspricht einer Risikobewertung, die von dem Objekt O10 getragen wird. Das Objekt O14 bezeichnet Verantwortliche, Realisierungstermin und Status und ist im Objekt O10 enthalten.

Die Objekte können durch Attribute näher spezifiziert werden, die den einzelnen Objekttypen zugeordnet werden und in Abhängigkeit vom Objekttyp noch weiter untergliedert werden. In diesem objektorientierten Modell werden die Merkmale, wie

- Modellieren der Aufbau- und Funktionsstruktur von Produkten und Prozessen,
- Modellieren von Fehlerwissen und
- Modellieren von Strukturen zur Modularisierung des Wissens in wiederverwendbare Wissensmodule realisiert.

In Fig. 1 sind weiterhin die Objekte O8 und O9 enthalten, die den Ablauf und das Ablaufverzweigungselement darstellen. Die Relationen R6, R7 und R8 bedeuten im einzelnen, daß das Prozeßelement einen bestimmten Ablauf aufweist, der wiederum aus Ablaufverzweigungselementen und einem Prozeßelement besteht.

In der Fig. 2 wird ein Beispiel für die Modellierung einer kontextabhängigen Relation dargestellt. Die Modellierung des Erfassungskontextes zu einem Wissenselement wird realisiert, indem beispielsweise die zweistelligen Beziehungen des objektorientierten Modelles durch Beziehungen mit mehr als zwei Stellen ergänzt werden. Dieses Realisierungsprinzip ergibt sich in naheliegender Weise aus der sogenannten Entity-Relationship-Modellierung. In dem Beispiel entsprechend Fig. 2 ist der entsprechende Kontext der Prozeßblock P1, der in Verbindung mit dem Prozeßschritt P2 verwendet wird. Zur stufenweisen Verallgemeinerung des Gültigkeitsbereiches von Wissensmodulen, wobei entsprechende Strukturen modelliert werden, werden beispielsweise Klassenhierarchien mit Vererbung für die Objek-

te O1, O2, O4, O5 und O10 (Fig. 1) zur Realisierung aufgestellt. Die Verzahnung der Klassenhierarchien mit den im Wissensmodell vorgesehenen Beziehungen zwischen diesen Objekten trägt ebenfalls zur Modellierung von Strukturen bei. Diese Verzahnung der Klassenhierarchien für Produkt- und Prozeßelemente mit der wichtigen Beziehung "besteht aus" (beispielsweise Beziehung B1) für die Objekte O1 und O8 (Prozeßelement und Ablauf) wird in Fig. 4 dargestellt.

Die automatische Ableitung von Wissen auf der Basis der abgestuften Gültigkeitsbereiche von Wissensmodulen liefert aus Anwendersicht den eigentlichen Nutzen der Erfindung. Die entsprechende Realisierung setzt jedoch wiederum die Summe folgender Merkmale voraus:

- Modellieren der Aufbau- und Funktionsstruktur
- Modellieren von Fehlerwissen
- Modellieren von Strukturen zur Modularisierung des Wissens mit dem Ziel zur Übernahme in eine Wissensbibliothek
- Modellieren des Erfassungskontextes zu einem Wissenselement und
- Modellieren von Strukturen zum stufenweisen Verallgemeinern des Gültigkeitsbereiches von Wissensmodulen.

Die automatische Ableitung von Wissen erfolgt in den folgenden beiden Schritten:

1. Spezifikation des Problemkontextes durch Festlegen von quantitativen Kenngrößen oder qualitativen Begriffen.
2. Übertragen von Wissen aus der Wissensbibliothek in den vorgegebenen Problemlösungskontext, indem die aus dem Problemkontext resultierenden Objekte als Instanzen der jeweiligen Klassenhierarchien betrachtet werden und ihnen auf dieser Grundlage das zugehörige Attribut- und Beziehungswissen (Relation) aus der Wissensbibliothek vererbt wird.

Die Auswahl zu obigem Punkt 1 erfolgt beim derzeitigen Stand der Technik in der Fertigung mit Hilfe von Auswahlmenues. In einer vollautomatischen Prozeßumgebung, kann unsere Wissenskomponente vollautomatisch mit der Spezifikation des Problemkontextes versorgt werden. Ein Beispiel für das automatische Festlegen von Kenngrößen sieht wie folgt aus: Bei der Fehlerdiagnose im Zusammenhang mit Fertigungsautomaten ist es für die Aktivierung der Wissenskomponente im allgemeinen sinnvoll, die Sachkenntnis von Fertigungsautomat und Wafer zu spezifizieren. Mittels automatischer Identifizierung des Wafers kann diese Information vollautomatisch bereitgestellt werden. Ebenso kann die Wissenskomponente vollautomatisch aktiviert werden.

In der Fig. 3 sind in der Ebene verschiedene Prozeßabläufe dargestellt, wobei mehrere Gesamtprozesse, die jeweils durch einen querverlaufenden Streifen mit Pfeilen nach rechts dargestellt sind, hintereinander plazierte sind. Ein Prozeßablauf besteht aus mehreren Prozeßschritten. In der Fertigung von integrierten Schaltungen sind die Prozeßschritte wie in Fig. 3 dargestellt linear angeordnet. Dies braucht jedoch i.A. nicht der Fall zu sein. Zur Darstellung von verzweigten Abläufen dient das Objekt O9 zu Fig. 1. In der Klassenhierarchie der Prozeßelemente sind beispielsweise gleichartige Prozeßschritte enthalten, die für verschiedene Gesamtprozesse verwendet werden. In der Aufbaustruktur der

Prozeßelemente sind Prozeßschritte eines Prozeßablaufes enthalten in einem Prozeßblock und dieser wiederum in einem Komplex. Jedem Prozeß ist als Ergebnis ein Produkt bzw. eine Produktgruppe zugeordnet. Für die Produktelemente ist wiederum eine Klassenhierarchie der Module zur Beschreibung der Aufbaustruktur aufgebaut.

Die Fig. 4 zeigt nochmals ein stark vereinfachtes Beispiel aus der Halbleitertechnologie, wobei genauer auf die automatische Ableitung von Wissen eingegangen wird, die aus den beiden oben genannten Schritten besteht. In Fig. 4 sind am linken Rand vier Kategorien von Prozeßtypen übereinander angeordnet. Diese sind Gesamtprozeßtypen, Prozeßkomplextypen, Prozeßblocktypen und Einzelprozeßtypen. Jeder Prozeßtyp weist eine Vielzahl von Merkmalen auf, die sich stufenweise vielfach verzweigen. So ist im Bereich der Gesamtprozeßtypen der Arbeitsplan A52 angesiedelt. Aufgrund der in der Wissensbibliothek hinterlegten Klassenhierarchie für Gesamtprozesse wird die Baunummer xxx1 als Spezialfall des Arbeitsplanes A52 betrachtet. Der Arbeitsplan A52 ist ein Prozeßelement und hat folglich einen Ablauf, der aus einer Abfolge von Prozeßelementen besteht (Komplex 1, Komplex 2, ...). Komplex 2 ist ein Spezialfall des Prozeßelement-Types LOCOS. Dieser Prozeßelement-Typ LOCOS findet sich unter Prozeßkomplex-Typen. Bei der hier vorliegenden Verknüpfung ist die Funktion A' ein Spezialfall der Funktion A. Die Funktion A' von Komplex 2 erbt dabei den Fehler der mit a1 bezeichnet ist inklusive der zugehörigen Maßnahme. Der Fehler a1 ist damit als potentielle Ursache für das bei Baunummer xxx1 aufgetretene Problem automatisch abgeleitet worden.

Durch die Erfindung wird interaktives Navigieren in einem Netz mit hinterlegten Fehlerbeziehungen ermöglicht. Durch die Verankerung der Fehlfunktion an den Prozeßmodulen kann der Prozeßablauf zur Steuerung der Navigation genutzt werden. Das Prinzip, daß die Ursache im Prozeß zeitlich vor dem Symptom liegt, liefert im Vergleich zu rein regelbasierten Systemen eine Vereinfachung der Navigation im Fehlernetz. Weiterhin werden in Lücken in Argumentationsketten durch Analogieschlüsse auf der Basis der hinterlegten Beziehungen geschlossen. Dies sind insbesondere die Klassenhierarchien für Produkt-/Prozeßmodule, Funktionen, Fehlfunktionen und Maßnahmen.

Die Begriffe objektorientierte Modellierung und objektorientiertes System werden im Sinne der Definition verwendet, die zum Stichwort objektorientiertes Datenbanksystem in der Literaturstelle [1] gegeben wird: Ziel ist es, unmittelbar mit Dateneinheiten umzugehen, die anschaulichen Gegenständen entsprechen und zugleich die unmittelbare Kenntnis der Anwendung für leistungssteigernde Maßnahmen im System ausnutzen.

Die Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse (FMEA) ist eine formalisierte Methode, um mögliche Probleme sowie deren Risiken und Folgen bereits vor ihrer Entstehung systematisch vollständig zu erfassen. Diese potentiellen Fehler werden mit ihren Auswirkungen in Form des Fehlerwissens in einer Fehlerwissensbasis gespeichert. Siehe hierzu Literaturstelle [2].

Das beschriebene Verfahren muß zur Entfaltung seiner vollständigen Wirkung online mit einem Fertigungsprozeß betrieben werden, so daß auftretende Fehlfunktionen mit entsprechenden Gegenmaßnahmen begleitbar sind. Somit ist die Einbindung in das Betriebsdatensystem einer Fertigungsanlage notwendig.

## Literaturhinweise

- [1] H.-J. Schneider, Hrsg., Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung, München u. a.: Oldenbourg Verlag 1991.
- [2] G.F. Kaminske et al., Qualitätsmanagement von A bis Z, München: Hanser Verlag 1993.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Ableitung von pro- 10  
zeß- und produkttechnischem Wissen aus einem  
integrierten Produkt- und Prozeßmodell, beste-  
hend aus der Kombination folgender Merkmale  
von wissenbasierten Systemen:

- a) Modellieren der Aufbau- und Funktions- 15  
struktur von Produkten und von Prozessen in  
einem integrierten Modell, das den Zusam-  
menhang zwischen Produkt und Produktent-  
stehungsprozeß mitabbildet,
- b) Modellieren von Fehlerwissen, 20
- c) Modellieren von Strukturen zur Modulari-  
sierung des Wissens in wiederverwendbaren  
Wissensmodulen auf der Basis der Aufbau-,  
Funktions- und Fehlfunktionsstruktur, sowie  
redundanzarme Übernahme der Wissensmo- 25  
dule in eine Wissensbibliothek,
- d) Modellieren des Erfassungskontextes zu ei-  
nem Wissenselement,
- e) Modellieren von Strukturen zum stufenwei-  
sen Verallgemeinern des Gültigkeitsbereiches 30  
von Wissensmodulen,
- f) automatisches Ableiten von Wissen zu ei-  
nem vorgegebenen Kontext auf der Basis der  
abgestuften Gültigkeitsbereiche von Wissens-  
modulen. 35

2. Verfahren nach Anspruch 1, welches zusätzlich  
folgendes Merkmal enthält:  
automatische Übernahme von neuem Wissen in das  
Gesamtmodell zur Änderung und Erweiterung der  
Wissensbasis. 40

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

FIG 1

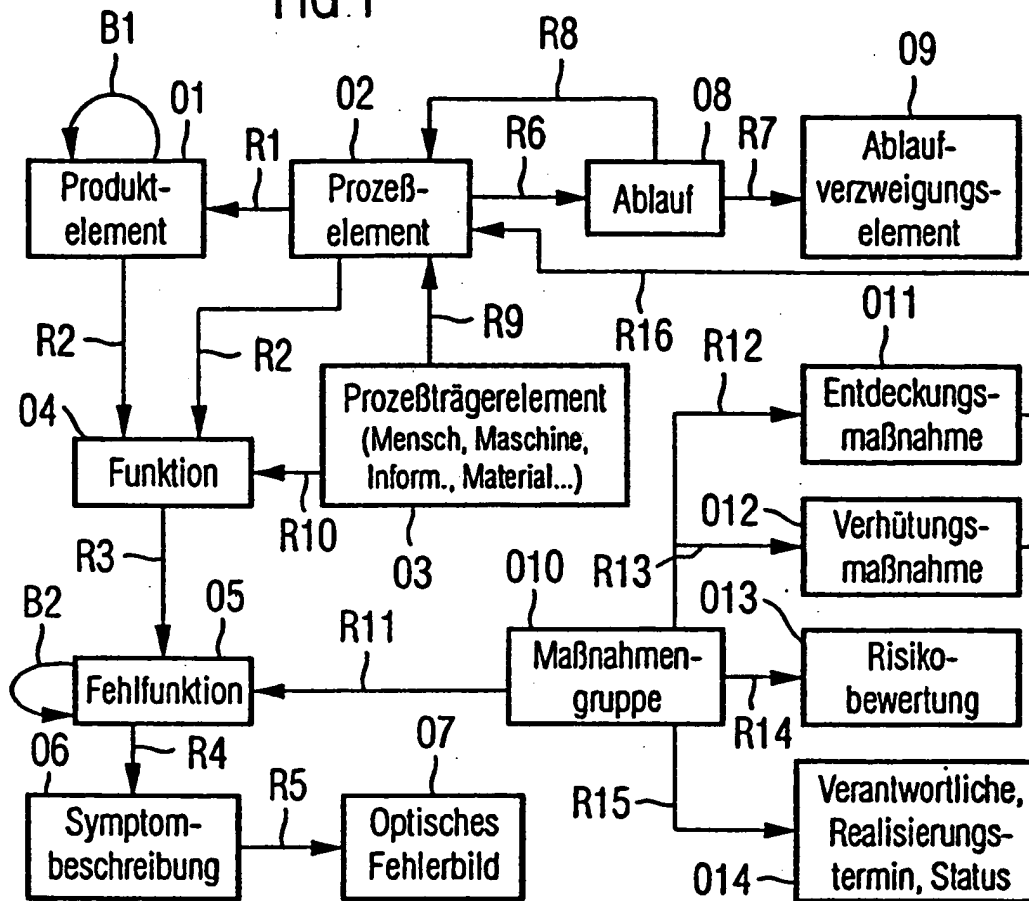
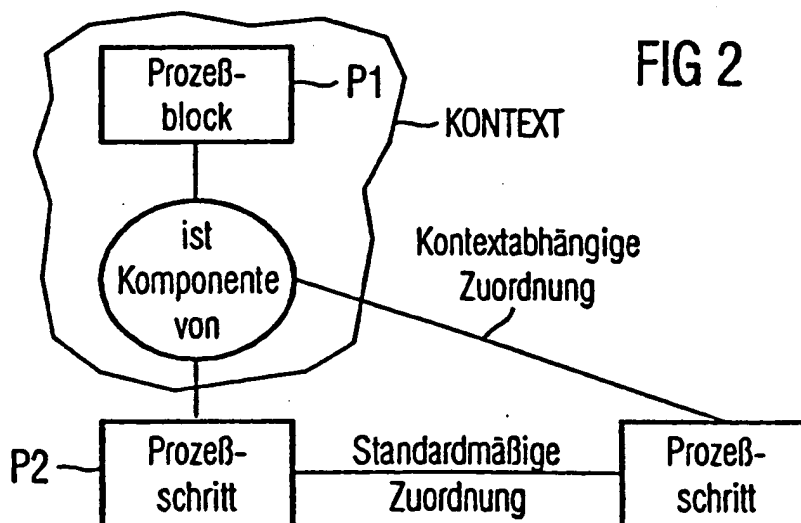


FIG 2



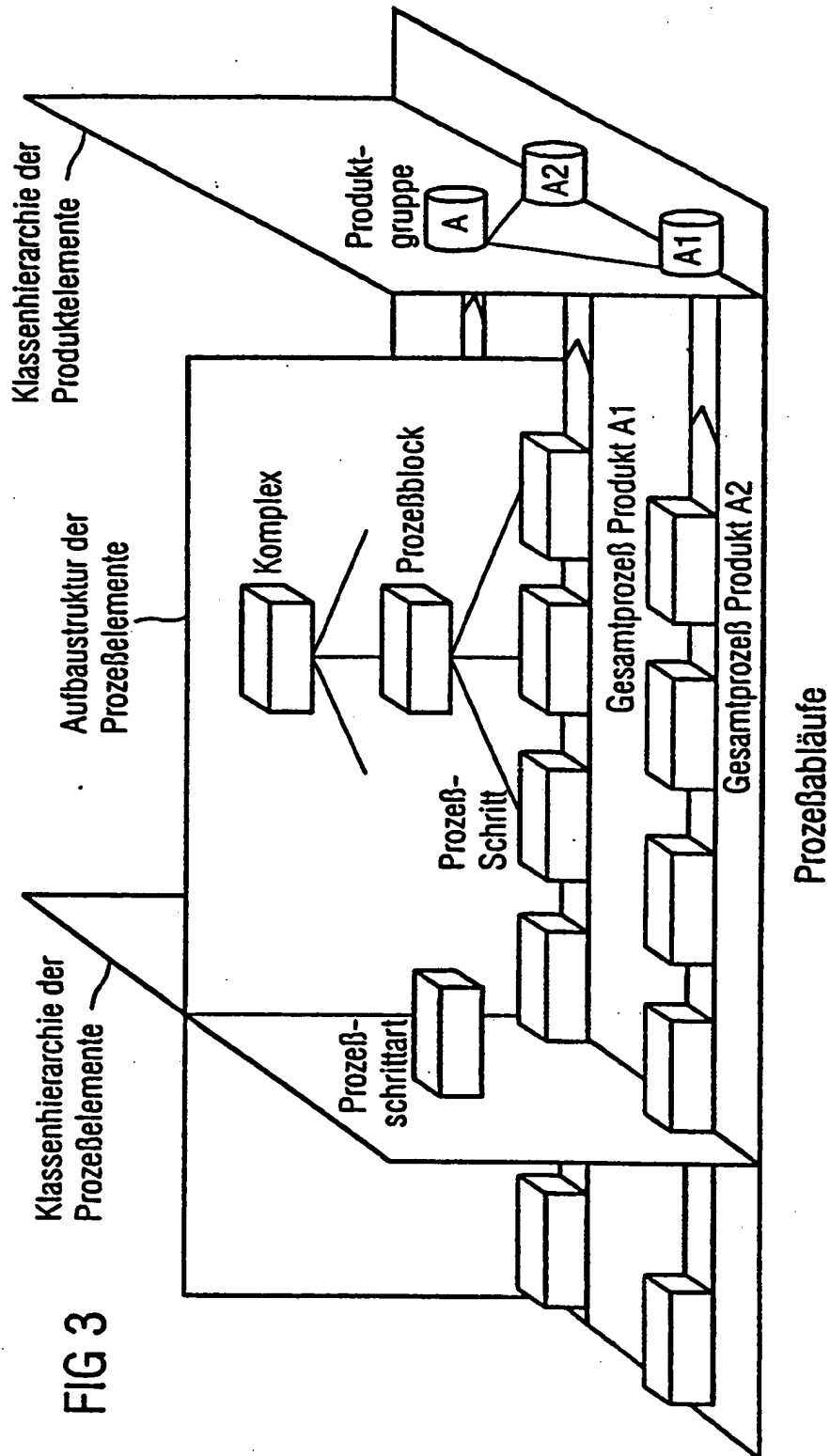


FIG 3

